

# Diseño Robusto aplicado en Planificación Estratégica

Minería a Cielo Abierto



## 3DEXPERIENCE®

Cristian Poblete  
Industry Process Consultant, Mining Engineering  
Center of Excellence Americas, GEOVIA

# Preguntas Estratégicas



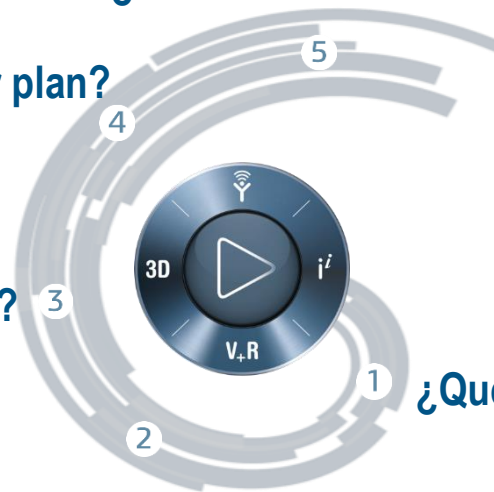
¿Cuál es el mejor plan?

¿Cuánto movimiento?  
¿Cuánto durará?

¿Cómo controlar el riesgo?  
¿Resiste ciclos malos?

¿Dónde comenzar?  
¿Qué fases?

¿Qué pit final?





# Visión de Proceso

## Ambiente

- ▶ Precios
- ▶ Costos
- ▶ Recuperaciones
- ▶ Incertidumbre en las leyes
- ▶ Frecuencia de Falla de Equipos

**Ruido:** Pequeña variación o volatilidad con respecto a un valor determinista.

## Variables Externas



## Variables Internas

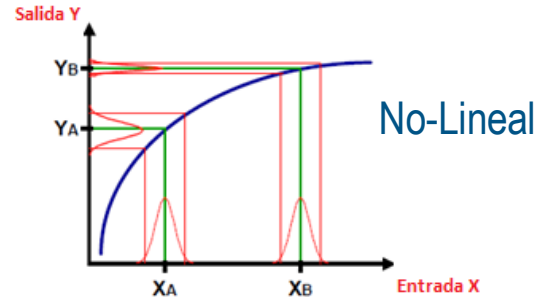
## Diseño

- ▶ Escalas de Producción
- ▶ Consideraciones de Diseño
- ▶ Dimensionamiento de Flota
- ▶ Alternativas de Secuencia
- ▶ Nivel de Explotación



## Resultado

- ▶ VPN
- ▶ Fino por periodo
- ▶ % Reconciliación
- ▶ Estabilidad Operacional
- ▶ KPI



# Análisis de Riesgo



I am 99% confident I won't get caught by a lion today. If I do get caught, I am expecting to lose 7 centimetres of my tail.



No es directa la relación entre la **toma de decisiones** y el conocimiento del **nivel de riesgo**.



- ▶ ¿De qué forma podemos utilizar la **incertidumbre** para **tomar decisiones**?
- ▶ Luego del análisis de riesgo: ¿Cuáles son las **variables que más inciden** en nuestros resultados?
- ▶ ¿De qué manera es posible lograr que nuestro proyecto **no sea tan sensible** al efecto de la volatilidad?

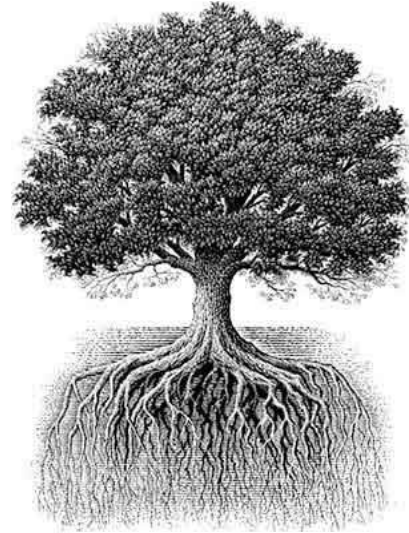
# Robustez y Fiabilidad

## Robustez:

- ▶ Fuerte, firme, vigoroso.
- ▶ Es la cualidad (de calidad) de tener una **insensibilidad** a la volatilidad de los factores externos.

## Fiabilidad:

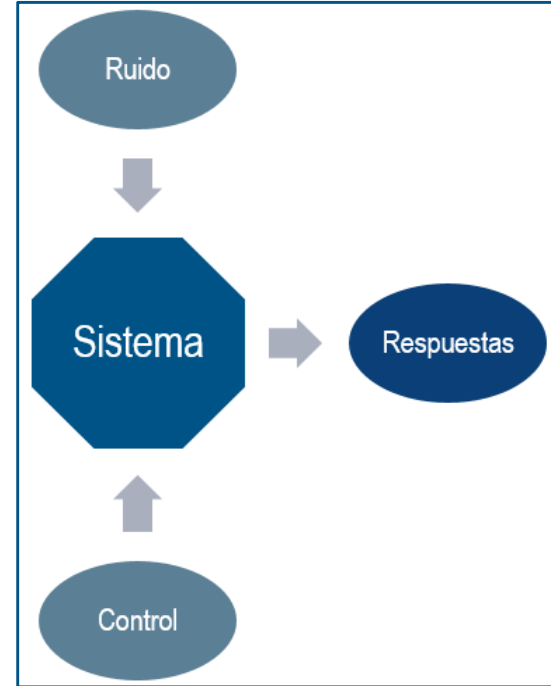
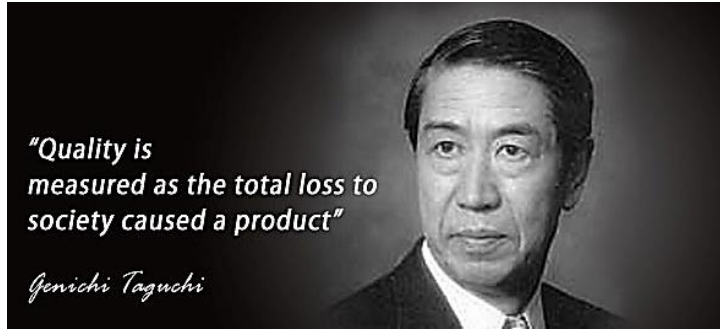
- ▶ La **confianza** de obtener un buen resultado.
- ▶ Es la probabilidad de obtener un resultado **dentro de lo esperado.**



# Introducción al diseño robusto de Taguchi

## Definición y diseño del sistema (estático)

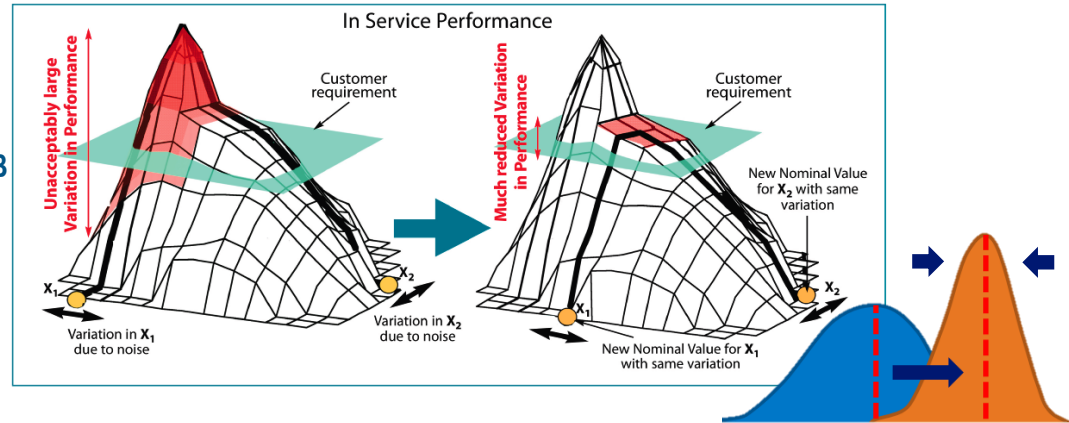
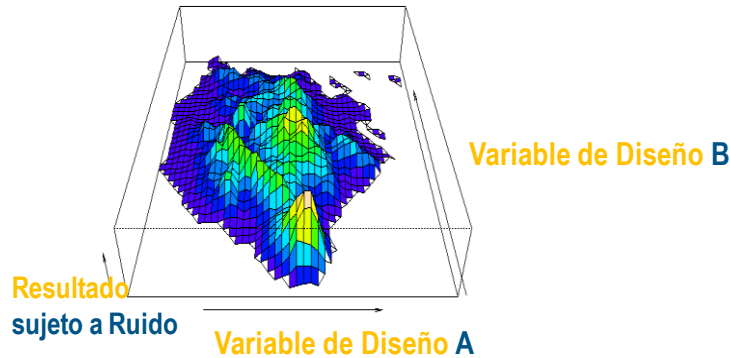
- ▶ Método de la ingeniería de calidad orientado al diseño de productos o procesos, que busca que estos sean insensibles ante fuentes de ruido internas o externas.





# Diseño Robusto

- ▶ El *Diseño Robusto* es una **metodología** que propone incluir calidad en el diseño de un proceso o producto.
- ▶ Esto se realiza a partir de la generación de **múltiples escenarios** que permitan **evaluar** la volatilidad de los factores externos sujeto a distintas configuraciones de diseño.



# En la Planificación Estratégica: ¿Qué pasaría si...?



- ▶ Pudiéramos generar planes consideren el **riesgo** (es distinto a evaluar el riesgo de nuestros planes)
- ▶ Conociéramos cuál es el impacto de las variables en **la captura de valor** de nuestro depósito.
- ▶ Evaluáramos la **robustez y fiabilidad** de nuestras decisiones.

# Limitaciones Actuales

- ▶ Tiempo disponible para analizar escenarios es **limitado**.
- ▶ La **complejidad de los escenarios**: La posibilidad para probar y analizar diversas **combinaciones o factores de influencia** como la ley, los equipos, los precios, etc.
- ▶ Existe un limitada cantidad de variables de las cuales una sola persona puede procesar en su mente a la vez. **Pensamos en una, dos y difícilmente en 3D.**

¿Cómo resolvieron esto otras industrias?



# Tecnología Avanzada



# Rolls-Royce

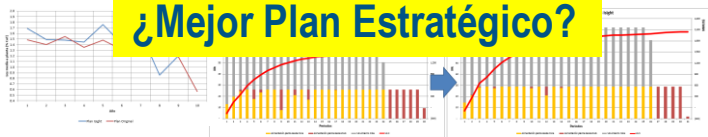


Reliability, integrity, innovation

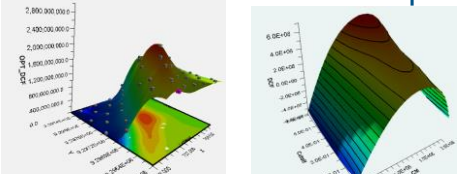
# Planificación estratégica robusta

Optimización Simultánea

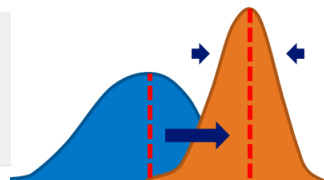
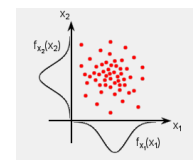
¿Mejor Plan Estratégico?



Escalas de Producción Óptima

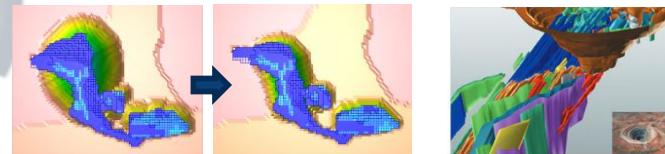


Control de la variabilidad del plan



¿Cómo controlar el riesgo?

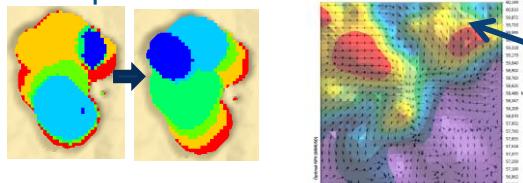
Envolvente Económica Robusta



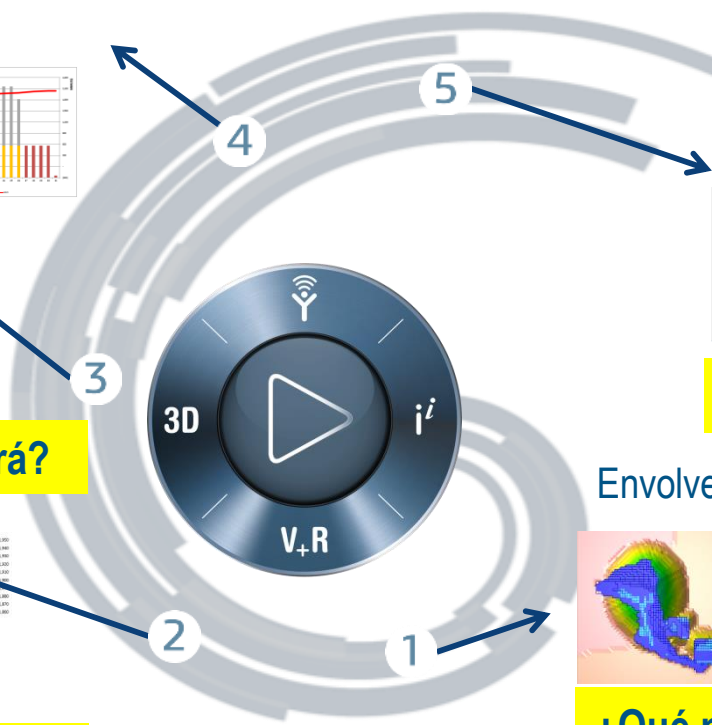
¿Qué pit final?

¿Cuánto Movimiento? ¿Cuánto Durará?

Búsqueda Universal de Fases



¿Dónde comenzar? ¿Qué dirección?



Confidential Information | 8/30/2017 | ref.: 3DS\_Document\_2014

3DS.COM © Dassault S

# Ejemplos de Casos

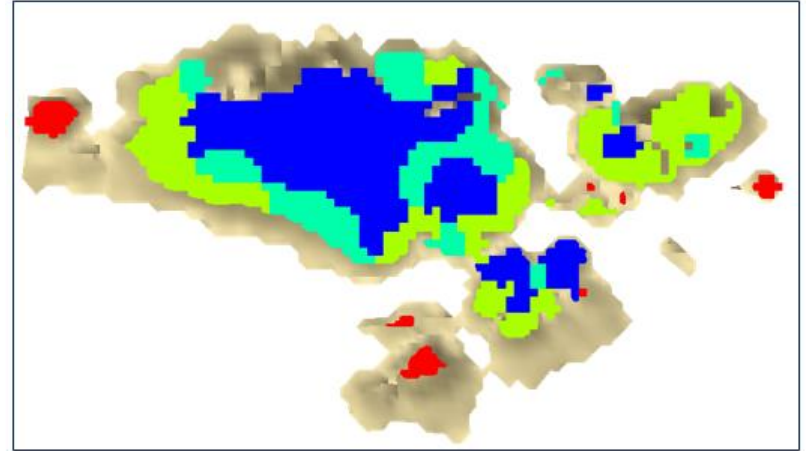
- ▶ Fases óptimas con mejor punto de inicio y dirección
- ▶ Mejor pit final y con evaluación de la secuencia estratégica
- ▶ Escalas de producción óptimas
- ▶ Footprint de Caving Robusto

# Fases óptimas con mejor punto de inicio y dirección

## Case 1

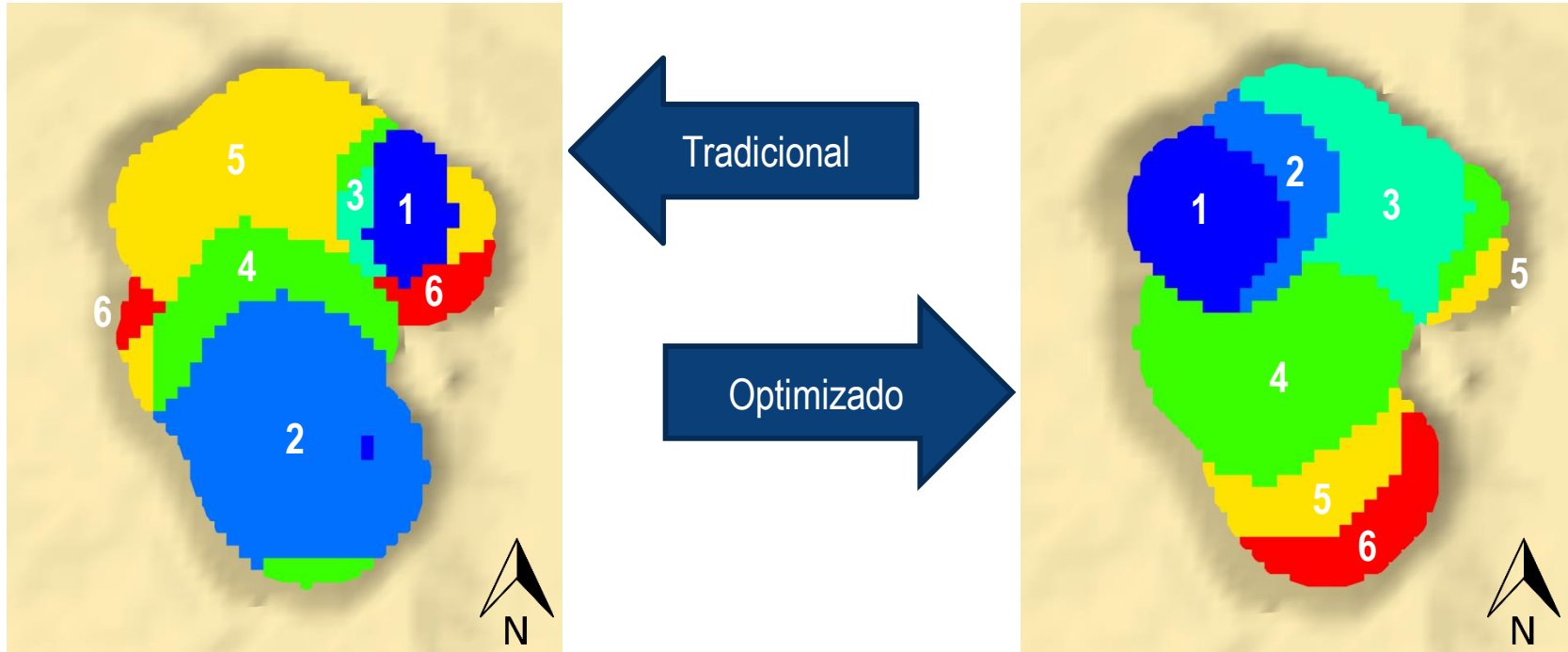
### ► Opportunity:

- ▷ Hard definition of **optimal phases**
- ▷ **Does not consider operational restrictions**
- ▷ Hard definition of **beginning of exploitation**
- ▷ **Atomized** exploitation.



# Generación automática de envolventes direccionadas

Evaluación exhaustiva con *software* de planificación (6 fases)

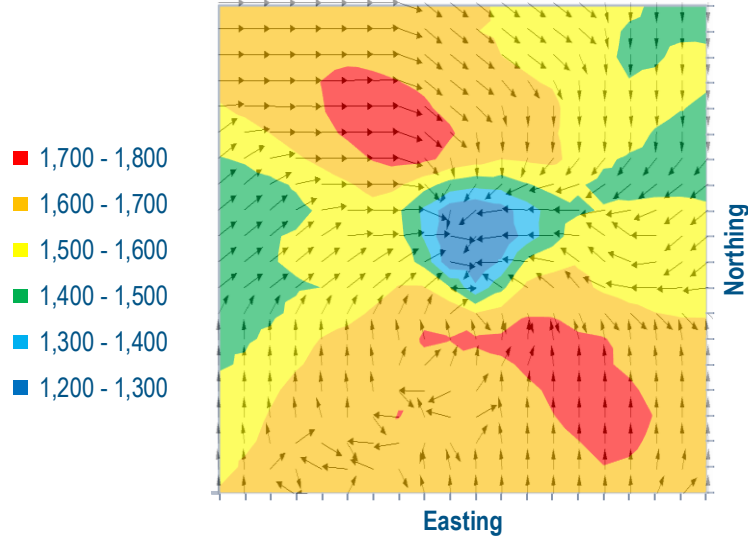




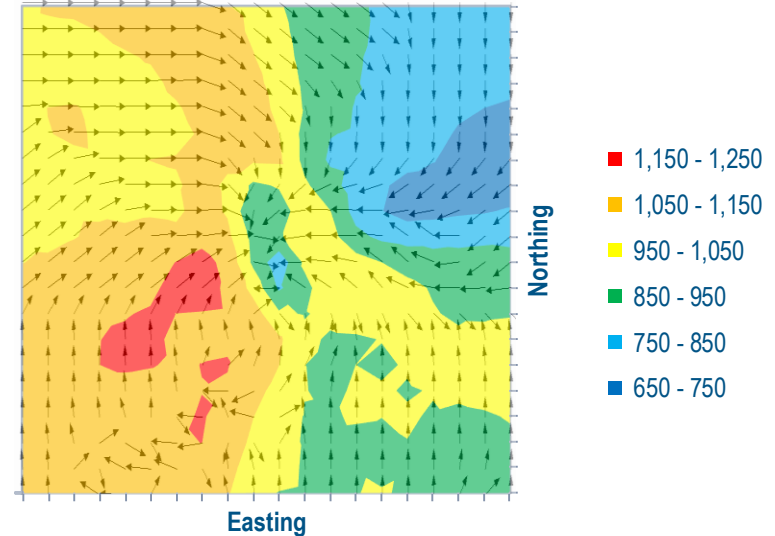
# Generación automática de envolventes direccionadas

Mapas de valor para el máximo y el promedio de cada punto

## VPN Máximo



## VPN Promedio

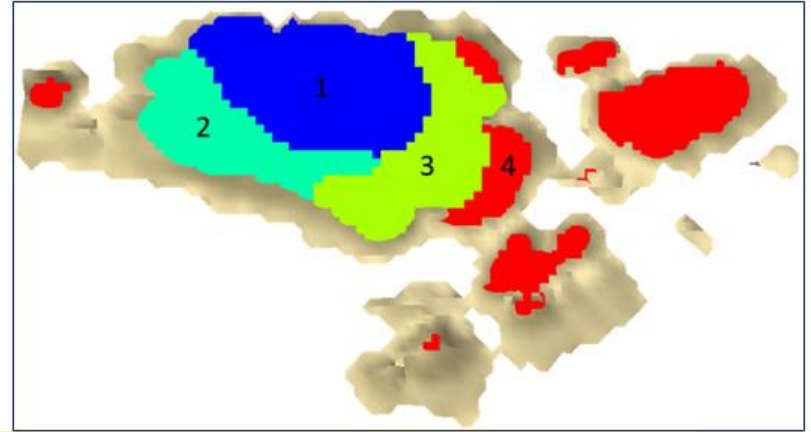


# Fases óptimas con mejor punto de inicio y dirección

## Case 1

### ► Results of the solution:

- ▷ The best set of phases, with an easy and feasible implementation
- ▷ Indicator of optimum growth of the exploitation
- ▷ Improvement in NPV (+5%)



### ► Value created:

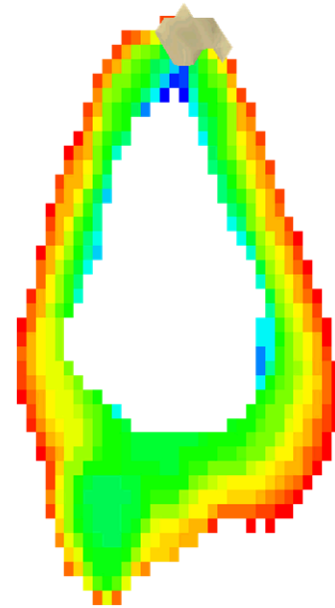
- ▷ Make a design feasible of the phases: Improve project possibilities
- ▷ Increases the economic value of the project: Makes the project more attractive

# Fases óptimas con mejor punto de inicio y dirección

## Case 2

### ► Opportunity:

- ▷ Difficult definition of **optimal phases**
- ▷ **Ratio Ore / waste very high**
- ▷ Phases with **poor operational feasibility**
- ▷ Poor **clarity in the best strategy to follow**

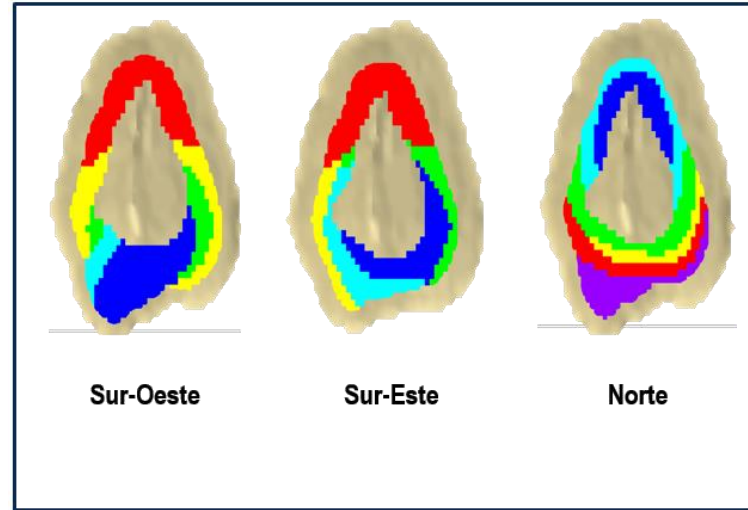


# Fases óptimas con mejor punto de inicio y dirección

## Case 2

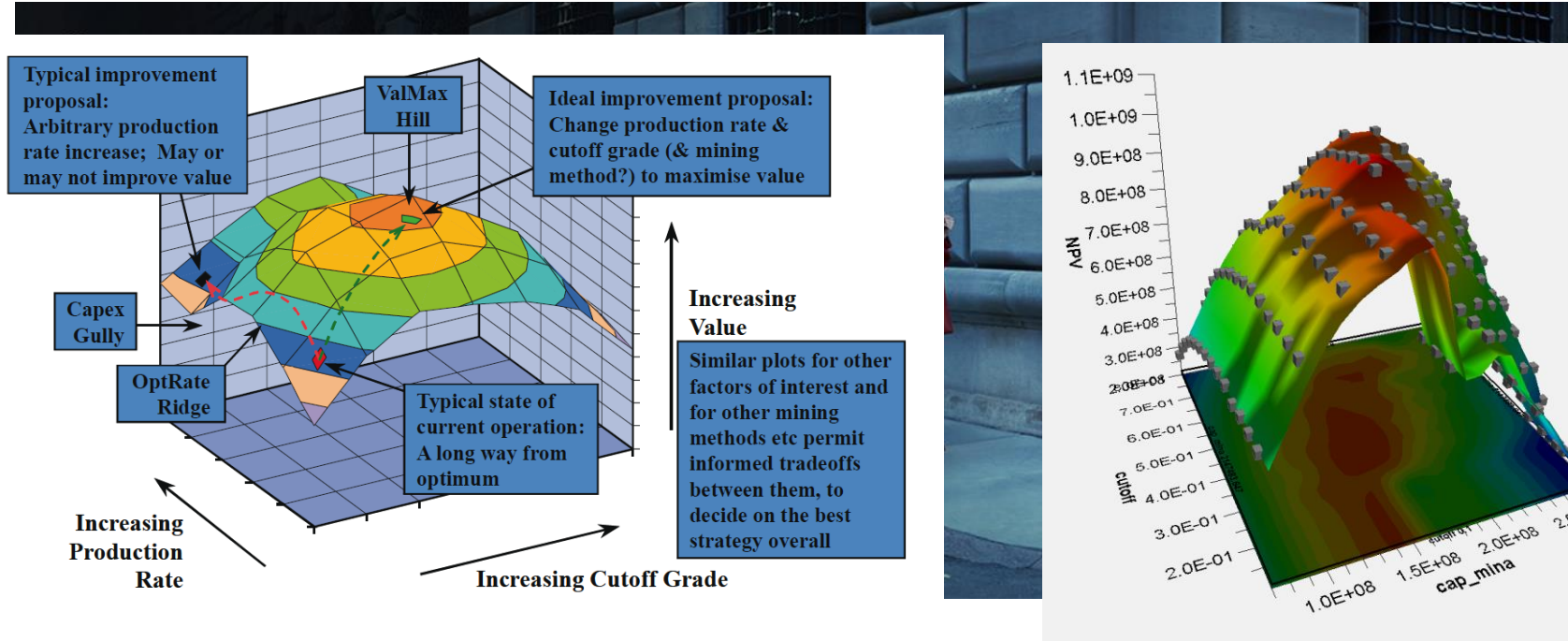
### ► Results of the solution:

- ▷ 3 sets of phases of **easy and feasible implementation**
- ▷ Alternatives of **optimum growth of the exploitation**
- ▷ Improvement in **NPV**



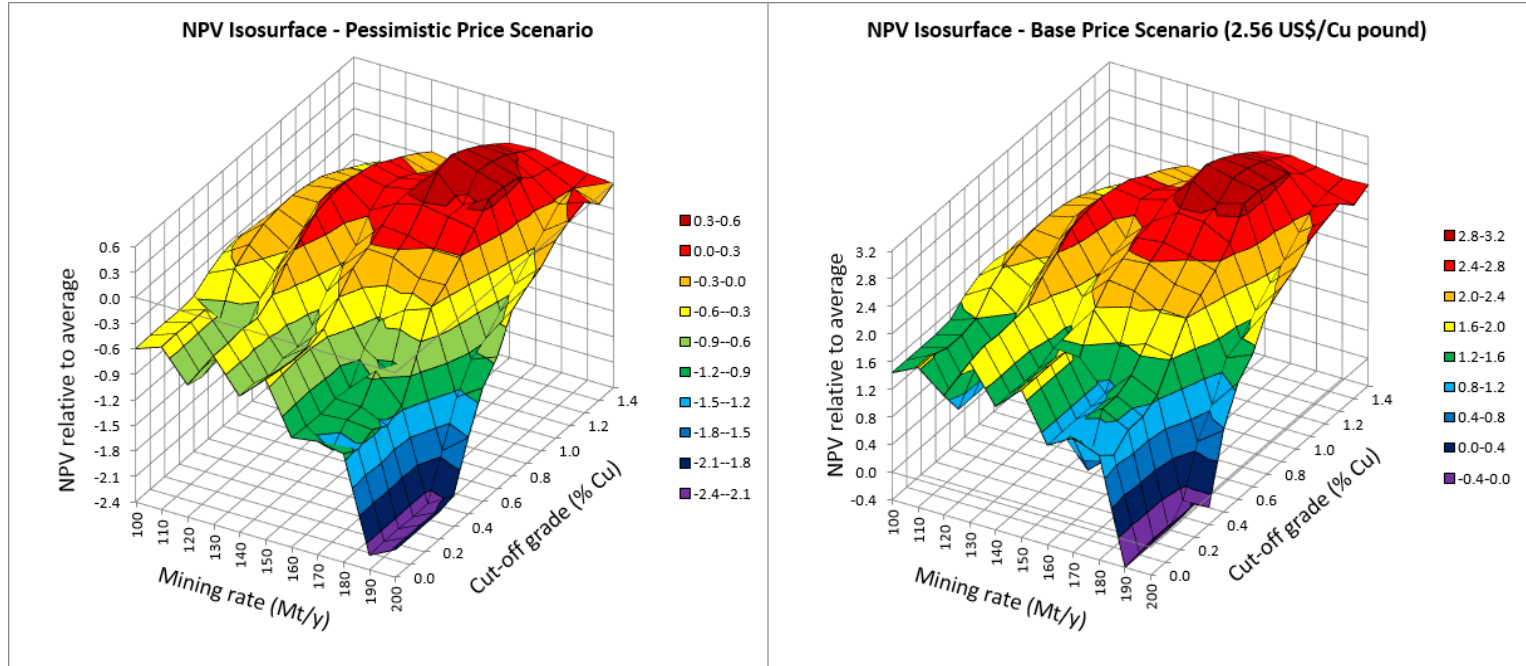
# Escalas de producción óptimas

Where we are and where we need to move us to create value

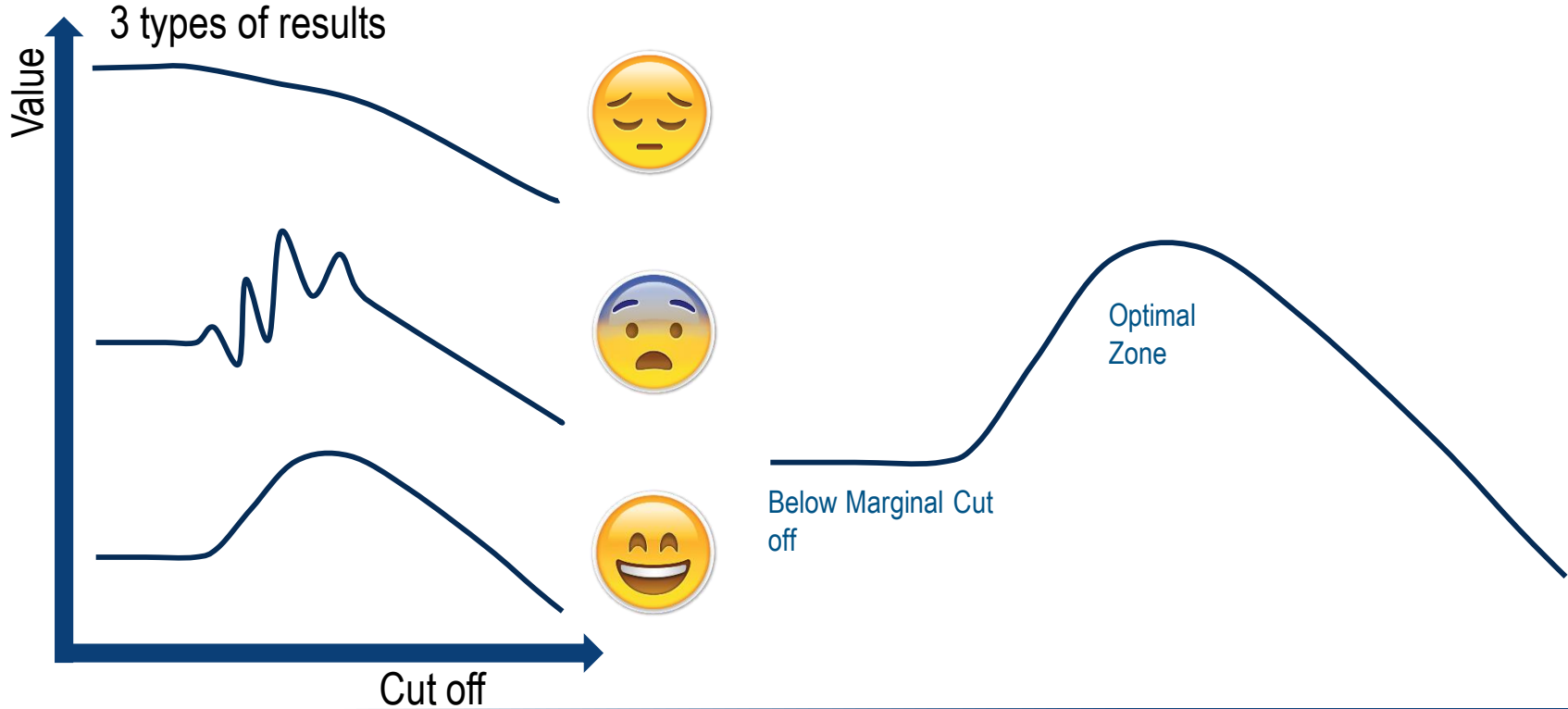


# Escalas de producción óptimas

En este caso, la región óptima también es robusta

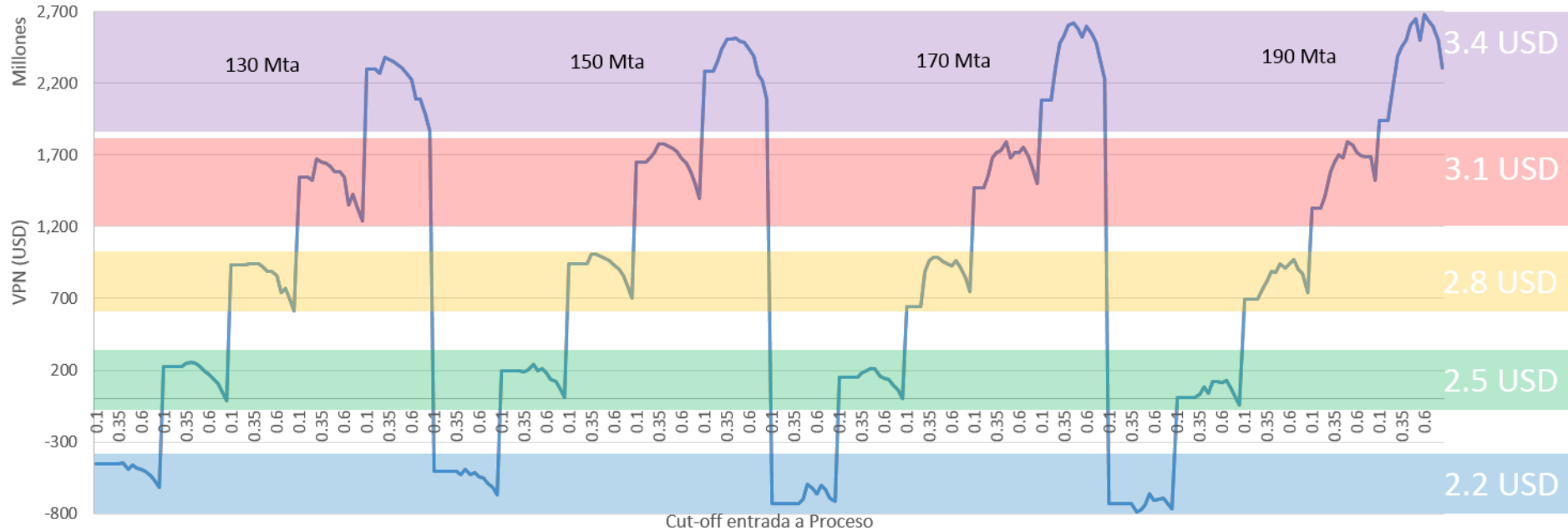


# Escalas de producción óptimas: Cut off analysis



# 5D: Cut-off/Value/Mina/Precio/Robustez(Calidad)

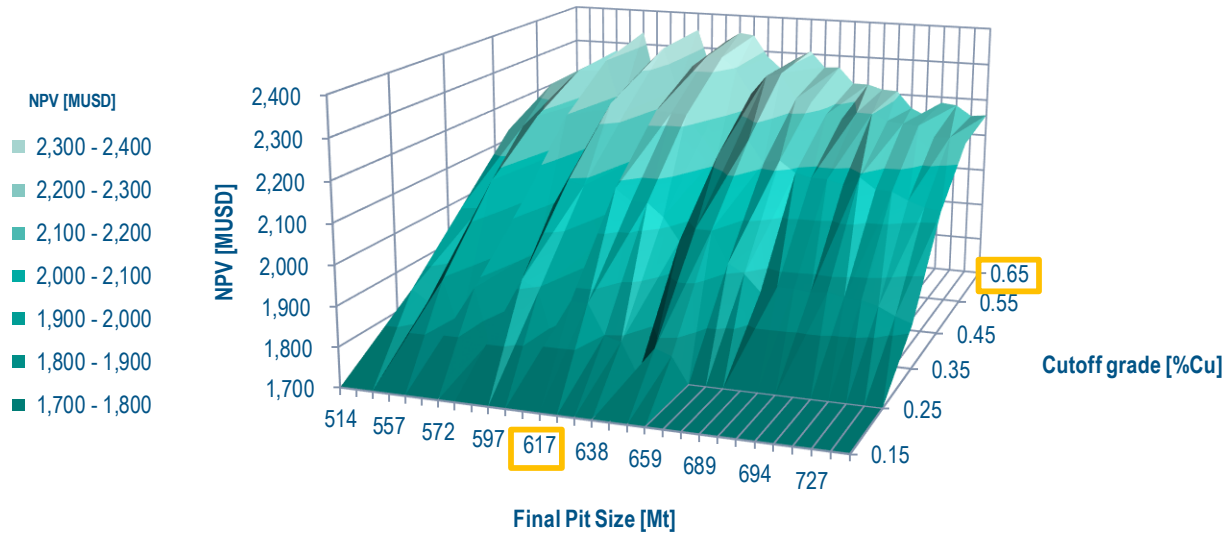
Robustez al precio de capacidades de mina con 19.8Mta a proceso NORTE





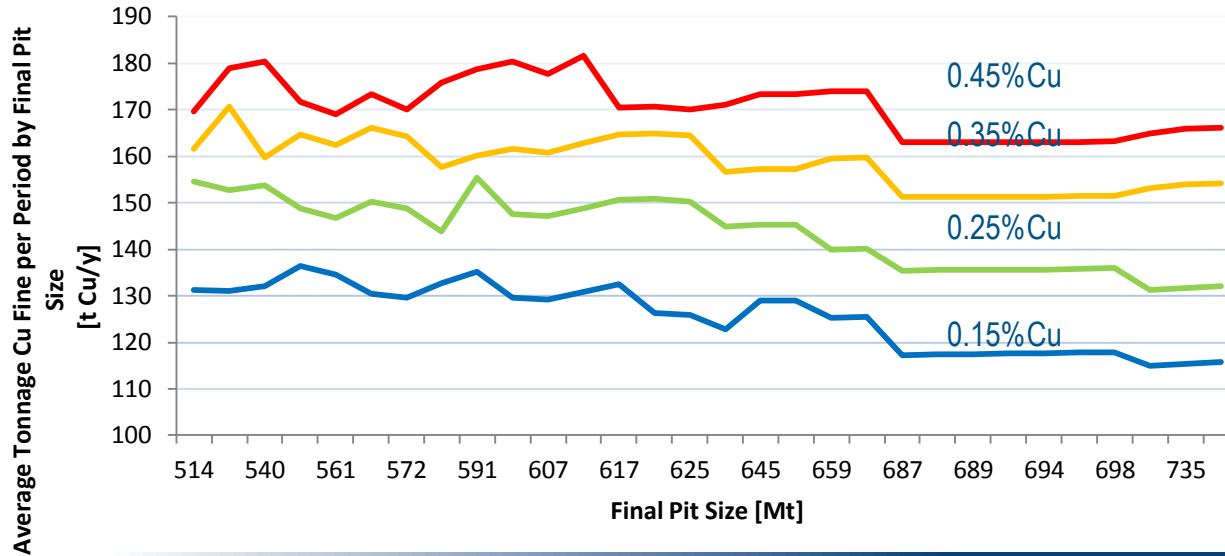
# Mejor pit final y con evaluación de la secuencia estratégica

## Hill of Value (NPV) at Mining Rate 70 Mt/y

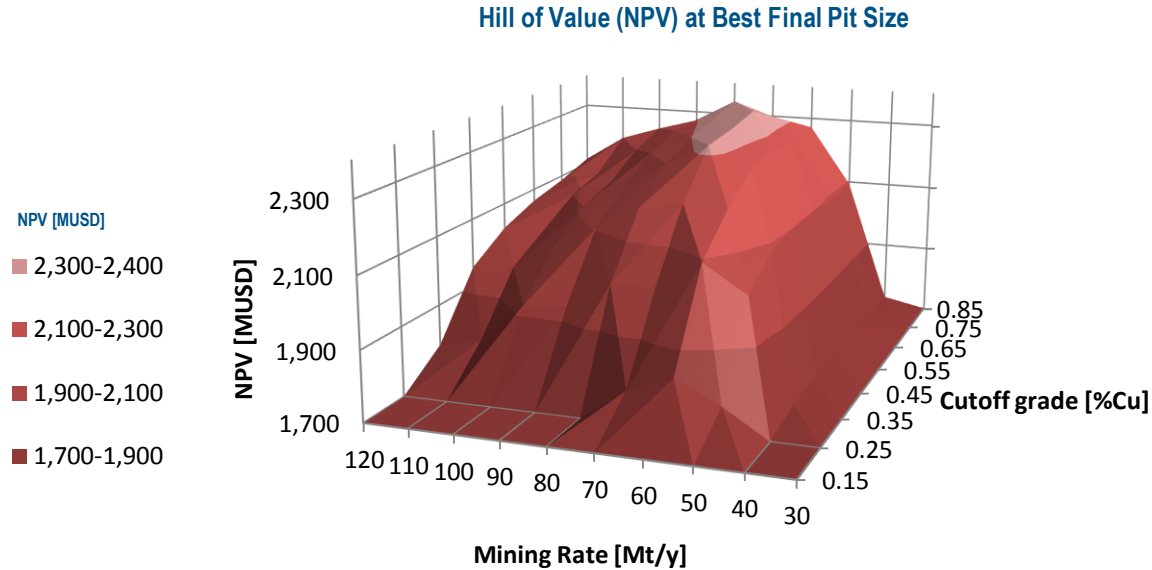


# Mejor pit final y con evaluación de la secuencia estratégica

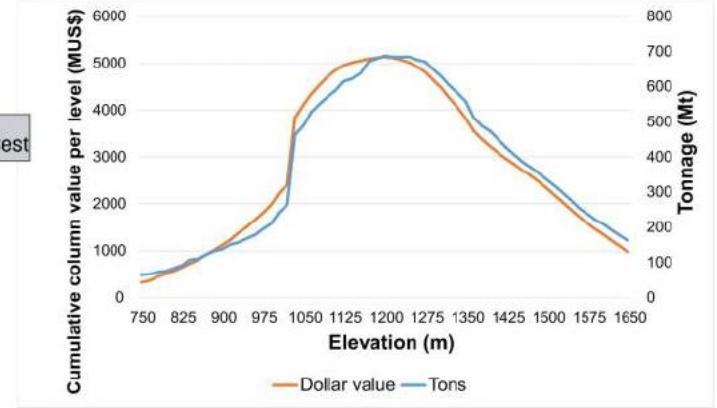
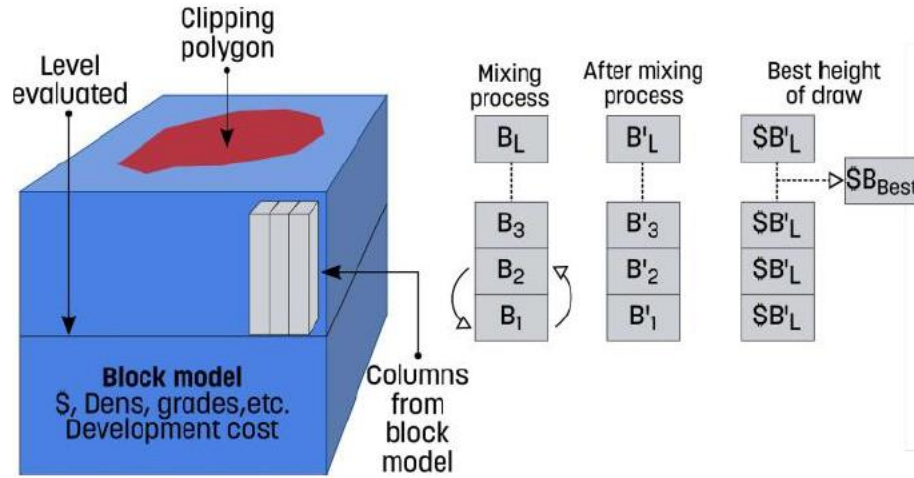
## Average Tonnage Cu Fine per Period by Final Pit Size



# Mejor pit final y con evaluación de la secuencia estratégica



# Evaluación del Footprint de Caving



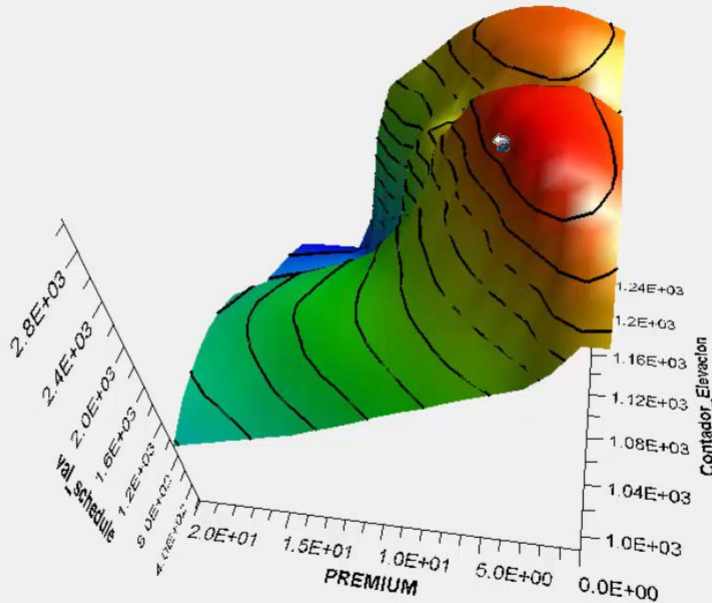
Inputs

Contador\_Elevacion 1011.3  
 990.0 1260.0  
 RATE\_KTPD 82.069  
 50.0 110.0  
 PREMIUM 15.263  
 0.0 20.0

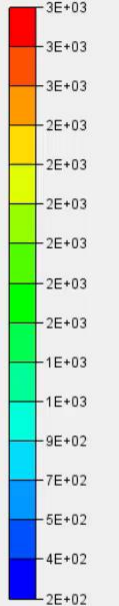
- Reset
- Select
- Zoom
- Pan
- Rotate
- Scale (%)  
100

Outputs

val\_schedule 1266.5  
 121.83 3287.8  
 Tons\_schedule 50.458  
 -0.25... 961.23  
 FF\_ALLIarea 60812.0  
 8505.6 7752...



val\_schedule



X: 0 Y: 0

Overlay Constraint Violations

X-Axis (Input)

Contador\_Elevacion

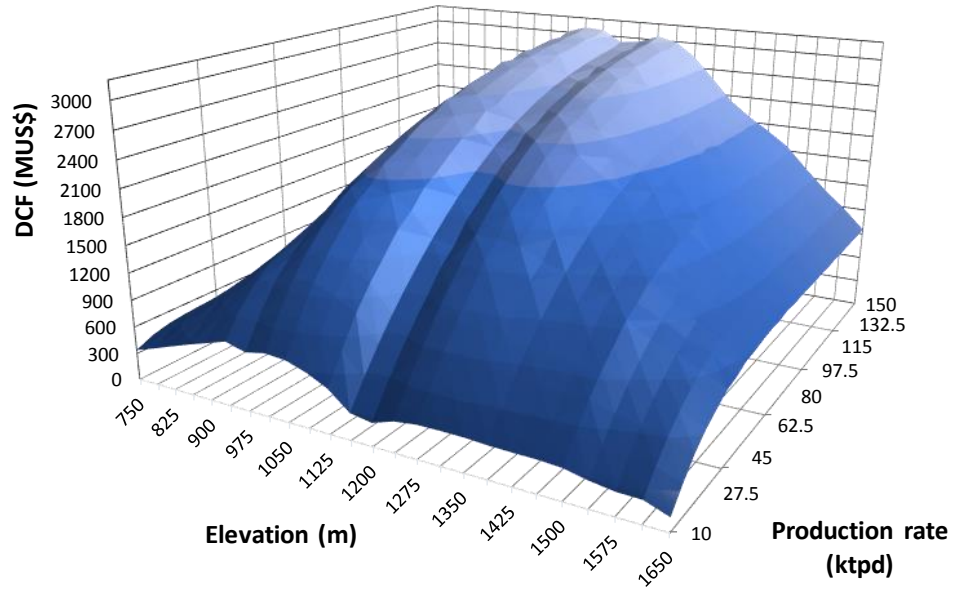
Y-Axis (Input)

PREMIUM

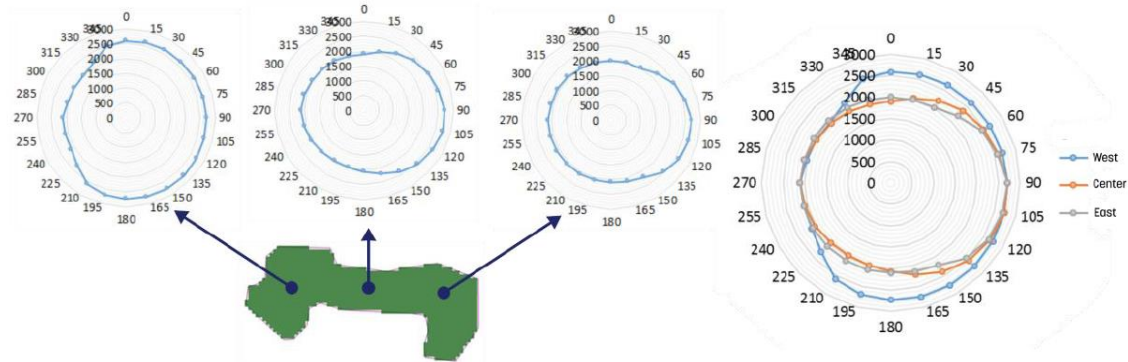
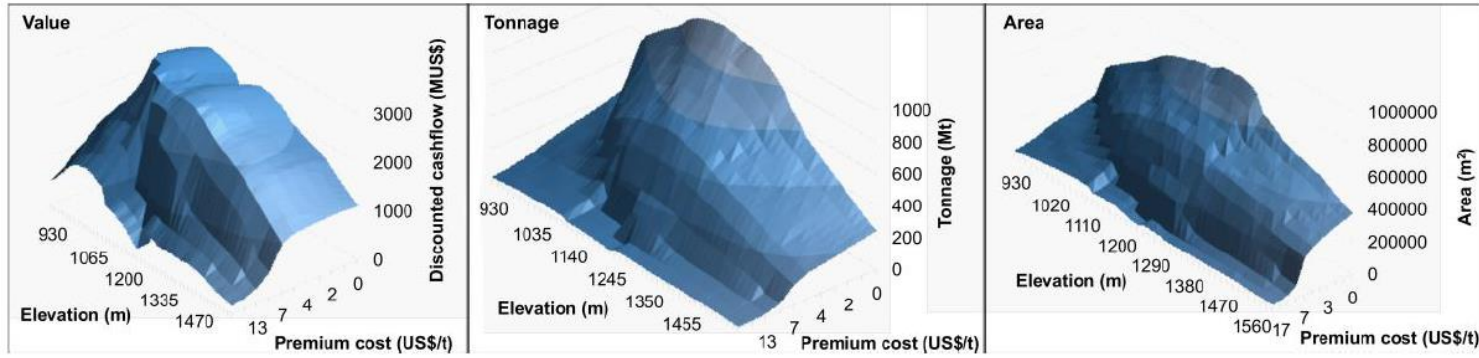
Z-Axis (Output)

val\_schedule

# Evaluación del Footprint de Caving



# Evaluación del Footprint de Caving



# Conclusiones

- ▶ Conocer el **universo de diseño** es clave para poder realizar un análisis estratégico completo
- ▶ El contar con **todos los escenarios**, nos permite poder tener una planificación flexible a distintas condiciones de mercado
- ▶ No basta con buscar un óptimo matemático, debemos encontrar la configuración que sea **robusta con respecto a la incertidumbre**
- ▶ El incluir la **calidad** en el proceso de planificación nos garantiza tomar definiciones **más confiables**



# ISight Interfaces

- ▶ Posee interface compatible con varios de los Software Mineros de **GEOVIA**



Whittle



Surpac



MineSched

- ▶ Posee Interface de interacción con una serie de herramientas:

- ▷ MS Office (Excel, Word)
- ▷ Matlab
- ▷ Abaqus
- ▷ Softwares por línea de comando

